



**VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL  
“INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”**

**PROBLEMAS DEL DESARROLLO URBANO EN EL ENTORNO DE LAS  
CARRETERAS**

**DR. ALBERTO MENDOZA DÍAZ,  
COORDINADOR DE  
SEGURIDAD Y OPERACIÓN  
DEL TRANSPORTE, IMT**

**M. EN I. EMILIO ABARCA PÉREZ,  
INVESTIGADOR, IMT**

**1. INTRODUCCIÓN**

Se han realizado diversas investigaciones econométricas que han puesto de manifiesto que la dotación de vías terrestres en un país (calles, carreteras y ferrocarriles en los ámbitos urbano, suburbano e interurbano) acelera el proceso de urbanización, y es una de las causas que explica el nivel del ingreso per cápita y la calidad de vida de sus habitantes.

Una red de vías terrestres está constituida por vías de diferentes funciones y jerarquías. Por la ley de rendimientos decrecientes, la dotación inicial de vías terrestres en la primera fase de construcción de la red, tiene mayor impacto sobre el desarrollo socioeconómico, por encima de las nuevas vías que se construyen para ampliación de la red.

Alternativamente, en un proceso que se da en plazos que van de medianos a largos, el crecimiento urbano va influyendo en algunos de los elementos de la red, tendiendo a modificar la función para la que fueron originalmente construidos. Esta situación genera problemas operativos, ante los cuales deben tomarse medidas correctivas.

Atendiendo a la temática de este evento, en este trabajo se presentan primero una serie de conceptos sobre urbanismo, usos del suelo, clasificación funcional de vías y control de acceso. Posteriormente se hace referencia a la problemática de carreteras de alta jerarquía de movilidad (arterias interurbanas) cuya operación llega a verse deteriorada por la urbanización y el crecimiento de actividades comerciales en su vecindad. En este caso los problemas son causados por la mezcla de los flujos locales con los de largo recorrido, y por el aumento de la densidad de accesos derivado del incremento de las actividades comerciales en la colindancia del derecho de vía. Ante la construcción de nueva infraestructura de alta jerarquía funcional en el país (autopistas y libramientos), se hace alusión después a la conexión que deben tener ésta con la parte de la red vial urbana afectada. Finalmente se presentan algunas conclusiones.

Queda fuera de los alcances de este trabajo lo correspondiente a ferrocarriles, aunque algunas de las discusiones son aplicables a ellos (p. ej. en muchas ciudades del país, los ferrocarriles que en los inicios de las mismas apenas pasaban tangencialmente por el núcleo original, ahora atraviesan enteramente las grandes áreas urbanas que se han desarrollado a través del tiempo en torno a dicho núcleo, generando una serie de conflictos que requieren atención).



## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

### 2. URBANISMO, USOS DEL SUELO Y CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE VÍAS

El urbanismo engloba un complejo conjunto de actividades cuyo fin último es proporcionar las bases fundamentales para poder resolver los problemas de las ciudades, concernientes tanto a la configuración física como a la dinámica de las actividades económicas y sociales. Como tal, tiene que ver con los problemas que se discuten más adelante en este trabajo, los cuales se derivan de ignorar algunos de los principios básicos de la teoría de planificación de redes viales.

La teoría de planificación de redes viales propone que la topología y capacidad de las vías de la red deben obedecer a los patrones de movilidad resultantes de la distribución de los usos del suelo y la localización de los centros de actividad.

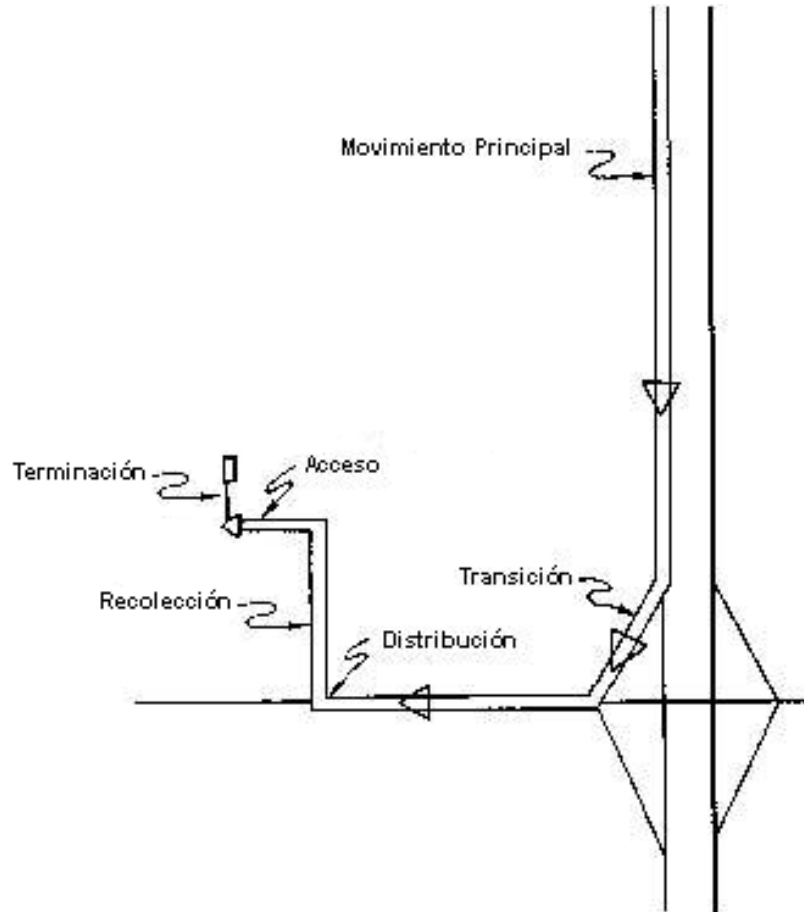
Asimismo, en la planeación de los nuevos desarrollos y obras urbanísticas deben tenerse en cuenta cómo éstos van a repercutir en la distribución y el volumen de los desplazamientos, para buscar las combinaciones que favorezcan la disminución de la longitud de los desplazamientos y de la posibilidad de que los tránsitos de largo recorrido tengan que atravesar zonas urbanas en las que se mezclen con los tránsitos locales.

También es fundamental que en los procesos de planeación vial se evalúe la repercusión que tendrán los nuevos desarrollos y obras urbanísticas en la demanda vial y de estacionamiento según los usos del suelo, debiendo estimarse las necesidades de ampliación de capacidad y extensión de la red. Cuando no sea posible satisfacer estas necesidades, debe limitarse la intensidad de los desarrollos, complementándolos con otros situados en zonas en las que exista la posibilidad de lograr los niveles de comunicación y capacidad requeridos.

Para lograr un desarrollo urbano armónico (eficiente, seguro, etc.), es necesario que la red vial se desarrolle de acuerdo con una estructura funcional [1]. Un sistema funcional proporciona una serie de movimientos distintos de viaje. Las seis fases reconocibles en la mayoría de los viajes incluyen: movimiento principal, transición, distribución, recolección, acceso, y terminación. A manera de ejemplo, la Figura 1 muestra un viaje carretero hipotético utilizando una autopista, donde el principal movimiento vehicular es un flujo ininterrumpido, de alta velocidad. Cuando los vehículos se aproximan a su destino desde la autopista, reducen su velocidad en las rampas de la autopista, que actúan como vías de transición. Los vehículos posteriormente ingresan a arterias de velocidad moderada (vías de distribución) que los llevan más cerca de sus colonias o barrios de destino. Posteriormente ingresan a vías colectoras que penetran las colonias. Finalmente ingresan a caminos de acceso local que proporcionan accesos directos a las residencias individuales u otras terminaciones. En sus destinos, los vehículos son estacionados en una instalación apropiada de terminación.

Cada una de las seis fases de un viaje típico se maneja a través de un tipo separado de vía diseñado específicamente para la función correspondiente a la fase. Debido a que la jerarquía de movilidad se basa en el volumen de tránsito, el viaje por autopista es generalmente más alto en la jerarquía de movilidad, seguido por el viaje a través de arteria de distribución, que es a su vez es más alto en la jerarquía que el viaje por las vías colectoras o de acceso local.

**VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL**  
**“INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”**



**FIGURA 1. Jerarquía de movimientos**

A pesar de que muchos viajes pueden subdividirse en todas las seis fases reconocibles, no siempre se necesitan los tipos intermedios de vías. La jerarquía completa de tipos de vías se relaciona especialmente con condiciones de desarrollo suburbano de baja densidad donde los flujos de tránsito se acumulan a través de elementos sucesivos del sistema. Sin embargo, es deseable a veces reducir el número de componentes en la cadena.

La falla en reconocer y acomodar a través del diseño conveniente cada una de las diferentes fases de viaje de la jerarquía de movilidad es una causa prominente de obsolescencia de las carreteras. Es común la generación de conflictos y congestionamientos viales en las interfases entre las carreteras públicas y los generadores de tránsito privados aledaños, cuando las transiciones funcionales son inadecuadas. Más adelante se presentan algunos problemas de este tipo.

El número de componentes de diseño necesarios puede determinarse a partir de la comparación de los volúmenes usuales de tránsito manejados por las vías de tipos funcionales diferentes. A manera de ejemplo, la Tabla 1 muestra una correlación de tipos

## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

funcionales contra volúmenes de tránsito y otros datos (p. ej. velocidad de diseño, espaciamiento entre vías del mismo tipo en áreas urbanas, etc.), frecuentemente utilizada en el diseño geométrico de vías. Asimismo, cada elemento de la jerarquía funcional puede servir como una vía de recolección para el elemento de la jerarquía siguiente, de manera que un elemento sólo debe estar presente donde la recolección intermedia sea necesaria para satisfacer las necesidades de espaciamiento entre vías del mismo tipo y volumen de tránsito de la vía del siguiente nivel. Por lo tanto, con base en estas necesidades, es posible determinar en que casos debe usarse el sistema completo y en cuales podrían obviarse elementos intermedios.

**TABLA 1. Correlación de clasificación funcional contra volúmenes de tránsito y otros datos**

Tipo Funcional	Volumen (Vehículos/día-carril)	Velocidad de diseño (km/h)	Composición porcentual típica en relación con la longitud total del sistema		Porcentaje de los viajes realizados en cada tipo en áreas urbanas	Espaciamiento entre vías del mismo tipo en áreas urbanas (km)
			Entorno Rural	Entorno Urbano		
Autopistas	5.000 o mayor	80 – 110	2 – 4 %	5 – 10 %	40 – 65 %	1.6 – 8.0
Vías Rápidas	3.000 – 5.000	80 – 110				No disponible
Otras Arterias Principales	1.750 – 3.000	80 – 110				No disponible
Arterias Menores	1.000 – 1.750	70 – 110	4 – 8 %	10 – 15 %	15 – 25 %	0.2 a 1.0 – 3.0 a 5.0
Vías Colectoras	500 – 1.000	60 – 100	20 – 25 %	5 – 10 %	5 – 10 %	No disponible
Vías Locales	100 – 500	50 – 80	65 – 75 %	65 – 80 %	10 – 30 %	No disponible

La clasificación funcional agrupa a las calles y carreteras según el carácter del servicio que deben proporcionar. Esta clasificación reconoce que los caminos y calles individuales no son para viajes independientes, sino que más bien la mayoría de los viajes involucra el movimiento a través de redes de caminos, pudiendo hacerse una categorización de los viajes en relación con tales redes de una manera lógica y eficaz. Así, la clasificación funcional de caminos y calles es también consistente con la categorización de los viajes.

Las dos consideraciones principales al clasificar funcionalmente redes de carreteras y calles son el acceso y la movilidad. El conflicto entre servir al movimiento de frente de largo recorrido y proporcionar acceso a un patrón disperso de orígenes y destinos, requiere de las diferencias y gradaciones en los varios tipos funcionales.

La limitación regulada del acceso es necesaria en arterias para reforzar su función primaria de movilidad. Recíprocamente, la función primaria de las calles y caminos locales es proporcionar acceso (cuya implantación causa una limitación a la movilidad). La magnitud y el grado del control de acceso son así un factor importante en la definición del tipo funcional de una calle o carretera.

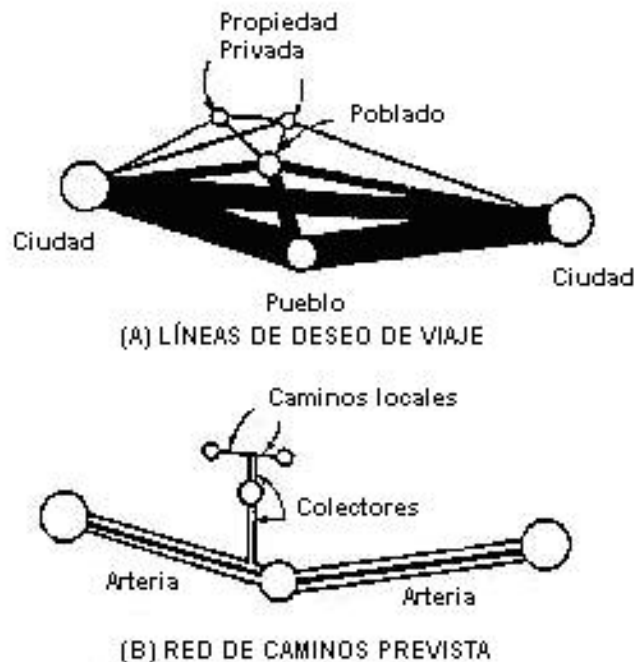
## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

Vinculado con la idea de categorización de tránsito, está el papel dual que la red juega en proporcionar (1) acceso a la propiedad y (2) movilidad de viaje. El acceso es una necesidad fija para cada área servida por el sistema. La movilidad se proporciona a diferentes niveles de servicio. La movilidad puede incorporar varios elementos cualitativos, tales como confort, calidad de rodadura y ausencia de cambios de velocidad, pero el factor más básico es la velocidad de operación o el tiempo de viaje.

La Figura 2 muestra que el concepto de categorización del tránsito conduce lógicamente, no sólo a una jerarquía funcional de tipos de caminos, sino también a una jerarquía similar de distancias relativas de viaje servidas por esos tipos. La jerarquía de distancias de viaje puede relacionarse lógicamente con la especialización funcional en cuanto a cumplir con las necesidades de acceso a la propiedad y de movilidad de viaje. Las vías locales dan énfasis a la función de acceso a la propiedad. Las arterias para movimientos principales o para distribución dan énfasis al elevado nivel de movilidad para el movimiento de frente de largo recorrido. Las vías colectoras ofrecen servicio equilibrado para ambas funciones.

Más adelante se proporcionan discusiones adicionales sobre los grados de control de acceso apropiado para cada tipo de vía.

Las áreas urbanas y rurales tienen fundamentalmente diferentes características con respecto a la densidad y tipos de uso del suelo, densidad de redes de calles y carreteras, naturaleza de los patrones de viaje, y la manera en que estos elementos están relacionados. Por consiguiente, los sistemas funcionales urbanos y rurales son clasificados de manera separada.



**FIGURA 2. Categorización del tránsito (Canalización de los viajes)**



## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

Las áreas urbanas son esos lugares dentro de los límites establecidas por los funcionarios estatales y locales responsables, que tienen una población de 5,000 habitantes o mayor. Las áreas urbanas se subdividen además en áreas urbanizadas (población de 50,000 habitantes y mayor) y las áreas urbanas pequeñas (población entre 5,000 y 50,000 habitantes). Las áreas rurales son esas áreas fuera de los límites de las áreas urbanas.

Los caminos que constituyen los sistemas funcionales difieren para las áreas urbanas y rurales. Tanto para unas como para las otras, la jerarquía de los sistemas funcionales consiste en arterias principales (para el movimiento principal), arterias menores (distribuidores), vías colectoras, y caminos y calles locales; sin embargo, en las áreas urbanas hay relativamente más arterias con un mayor número de subdivisiones funcionales para la categoría arterial mientras que en las áreas rurales hay relativamente más vías colectoras con un mayor número de subdivisiones funcionales para la categoría de vía colectora.

Tanto para las áreas urbanas como para las rurales, el sistema arterial principal se estratifica en los siguientes dos tipos: (1) autopistas y otras arterias principales, y (2) arterias menores. Cabe destacar que las autopistas no constituyen una clase funcional por sí mismas, sino que son normalmente clasificadas como arterias principales. Sin embargo, tienen el estándar geométrico más alto (velocidad de proyecto elevada y uniforme, control total de acceso desde las propiedades aledañas, dos o más carriles por sentido de circulación, carriles de circulación y acotamientos exterior e interior de anchos convenientes, zonas laterales benignas, rampas de entrada y salida en intersecciones a desnivel y sentidos opuestos separados físicamente por una faja separadora central), por cual son las carreteras que brindan la mejor calidad de servicio y las más seguras operativamente.

En síntesis, una red vial en armonía con las necesidades urbanas, debe integrarse por vías de los distintos tipos funcionales, de manera que queden adecuadamente atendidas todas las fases de los viajes, dándose la congruencia esperada entre la fase del viaje y el tipo funcional de vía destinado a atenderla, su jerarquía de movilidad, su jerarquía de distancias de viaje, su nivel de control de acceso y sus propiedades geométricas.

### 3. CONTROL DE ACCESO

Se refiere al nivel de restricción establecido por la autoridad al ingreso a una carretera determinada, de tránsito proveniente de otras, incluyendo intersecciones, vías públicas, privadas y cruces a nivel de la faja separadora central. En una carretera, el control de acceso puede ser total, parcial o inexistente. Es el factor que más influye por sí mismo en la seguridad de una carretera.

La regulación de la accesibilidad afecta a la planeación del desarrollo urbano y, a menudo, a los intereses inmobiliarios. La gestión de la accesibilidad puede resultar muy controvertida y convertirse en un elemento de tensión para los responsables de la red, ya que los propietarios de suelo buscan en la mayor parte de los casos obtener accesos frecuentes y directos a las vías, sin tener en cuenta otros aspectos del problema. Por ello, la utilización de recomendaciones, normas generales y otros instrumentos normativos, con flexibilidad interna, no resulta eficaz para ordenar la accesibilidad y resulta necesario establecer una normativa legal firme y detallada.



## **VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL**

### **“INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”**

Entre los aspectos que deben ser tratados en la normativa se encuentran los siguientes:

- Definición de las categorías funcionales de la jerarquía de la red y establecimiento de los niveles de control de accesos para las mismas.
- Asignación a las distintas categorías funcionales, de estándares en cuanto a la separación de intersecciones.
- Establecimiento de las normas de espaciamiento de los accesos directos a las vías y los requerimientos geométricos de los mismos.
- Las normas adoptadas para regular la accesibilidad deben responder a la jerarquización funcional de la red, admitiendo mayor accesibilidad y condiciones de diseño menos exigentes para las vías colectoras, mientras que para las arterias de mayor nivel y velocidad de circulación se deben establecer limitaciones estrictas.

El control de acceso de una vía puede ser:

- Total, cuando se da preferencia al tránsito que circula por la vía, proporcionando conexiones de acceso sólo con algunos caminos específicos, prohibiendo intersecciones a nivel así como el acceso directo desde las propiedades colindantes.
- Parcial, cuando aún se da preferencia al tránsito que circula por la vía, pero se permiten algunas intersecciones a nivel así como el acceso desde algunas vías locales.
- Inexistente, cuando se permite el acceso a ella desde todas las propiedades colindantes y otras vías. Los accesos se hacen en forma adecuada.

La Tabla 2 presenta las condiciones de acceso que pueden ser aplicables a cada tipo funcional de vía. En la Tabla 2, los cuatro primeros tipos pueden tener un cuerpo por sentido de tránsito, pero las vías colectoras y locales sólo tienen un cuerpo para albergar ambos sentidos.

**VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL**  
**“INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”**

**TABLA 2. Condiciones de acceso según tipo funcional de vía**

Tipo Funcional	Control de accesos	Entorno	Intersecciones				Distancia entre semáforos	Control de paso de la faja separadora central
			Vías públicas		Accesos privados			
			Tipo	Distancias	Tipo	Distancias		
Autopistas	Total	Urbano	A desnivel	3-5 km	Ninguno	-	-	Total
		Rural	A desnivel	5-12 km	Ninguno	-	-	Total
Vías Rápidas	Parcial	Urbano	A desnivel / A nivel	1-3 km	Ninguno	-	1-3 km	Total
		Rural	A desnivel / A nivel	1.5-8 km	Ninguno	-	-	Total
Otras Arterias Principales	Parcial	Urbano	A desnivel / A nivel	1-1.5 km	Giros a la derecha	250 m	1-1.5 km	Parcial
		Rural	A desnivel / A nivel	1.5-5 km	Giros a la derecha	350 m	-	Parcial
Arterias Menores	Parcial	Urbano	A nivel / A desnivel	400 m	Giros der / izq	150 m	800 m	Parcial/ Ninguno
		Rural	A nivel / A desnivel	1.5 km	Giros der / izq	350 m	-	Parcial/ Ninguno
Vías Colectoras	Parcial	Urbano	A nivel	400 m	Giros der / izq	100 m	400 m	-
		Rural	A nivel	800 m	Giros der / izq	150 m	800 m	-
Vías Locales	Inexistente	Urbano	A nivel	150 m	Giros der / izq	50 m	400 m	-
		Rural	A nivel	400 m	Giros der / izq	100 m	800 m	-



## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

### 4. LA CARRETERA FEDERAL LIBRE MÉXICO-TOLUCA

Se hace referencia al tramo de la Carretera Federal Libre México-Toluca comprendido entre los kilómetros 23 (bifurcación en carretera libre y de cuota a la altura de la caseta de cobro) y 35 (entronque de la libre con la de cuota a la altura de “La Marquesa”). Ésta es una carretera de dos carriles por sentido, separados por una barrera central de concreto con interrupciones frecuentes.

En el tramo anterior, según el Anuario Estadístico de Accidentes del IMT [2,3], anualmente se generan en promedio del orden de 53 accidentes, con saldo de 3 muertos, 49 heridos y 79 participantes involucrados (vehículos y peatones). Es, de hecho, uno de los tramos más peligrosos de la red de carreteras federales libres. Son frecuentes las “cruces” en las zonas laterales de esta carretera, correspondientes a personas que han fallecido por accidentes viales en la misma, como se ilustra en la fotografía en la Figura 3.



**FIGURA 3. Fallecido por accidente vial**

Considerando costos unitarios promedio de 400 mil dólares por muerto, 12 mil dólares por lesionado [2,3] y una paridad de \$13,50 pesos/dólar, se obtiene un subtotal de 24.138 millones de pesos, que sumado a un monto de 2 millones de pesos por concepto de daños materiales, da un estimado de 26.138 millones de pesos anuales en pérdidas por efecto de los accidentes en este tramo.

Según los Datos Viales de la SCT de 2009 [4], entre los kilómetros 23 y 35, esta carretera tiene un tránsito diario promedio anual (TDPA) de alrededor de 50 mil vehículos, con un reparto por sentidos aproximado de 50% y 50%, y una composición vehicular de 81.6% de automóviles, 7.7% de autobuses y 10.7% de camiones de carga.

Se realizó un recorrido al tramo, a bordo de un vehículo oficial del IMT, a una velocidad promedio de 60 km/h. Se tomó un video general del tramo, narrando en cada momento el kilometraje indicado en las señales informativas de identificación, así como la descripción

## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

de algunos puntos importantes, tales como desviaciones, casetas, estaciones de servicio, etc. Este recorrido, tuvo como finalidad proporcionar una idea preliminar de los alineamientos horizontal y vertical del tramo en estudio así como de los problemas que está generando la elevada accidentalidad. Asimismo, se eligieron y ubicaron los lugares estratégicos para la toma de velocidades en cada uno de los cuerpos.

Paralelamente, se efectuó un levantamiento georreferenciado con GPS del tramo. Durante la georreferenciación, también se levantaron algunos puntos intermedios, tales como los cadenamientos de kilometrajes cerrados, algunas intersecciones, pasos a nivel, estaciones de servicio, lugares con paraderos para venta de alimentos, puentes peatonales, entre otros. Esta información también fue recabada en forma manual, utilizando algunos de los formatos elaborados ex profeso para esta actividad. Por último, la información obtenida (“shapes” de puntos y líneas) se descargó en una computadora laptop y se hizo una primera validación en campo, para verificar que los datos obtenidos fueran correctos.

La Figura 4 muestra el tramo georreferenciado de ambos sentidos de la Carretera Federal Libre México-Toluca. Desde el inicio del tramo, km 23+000, y hasta un poco antes de llegar al km 34+000, ambos cuerpos “A” (de México a Toluca) y “B” (de Toluca a México), son paralelos y prácticamente colindantes entre sí. A partir del km 33+800 y hasta el 35+000 aproximadamente, es evidente una mayor separación entre ambos sentidos de circulación.

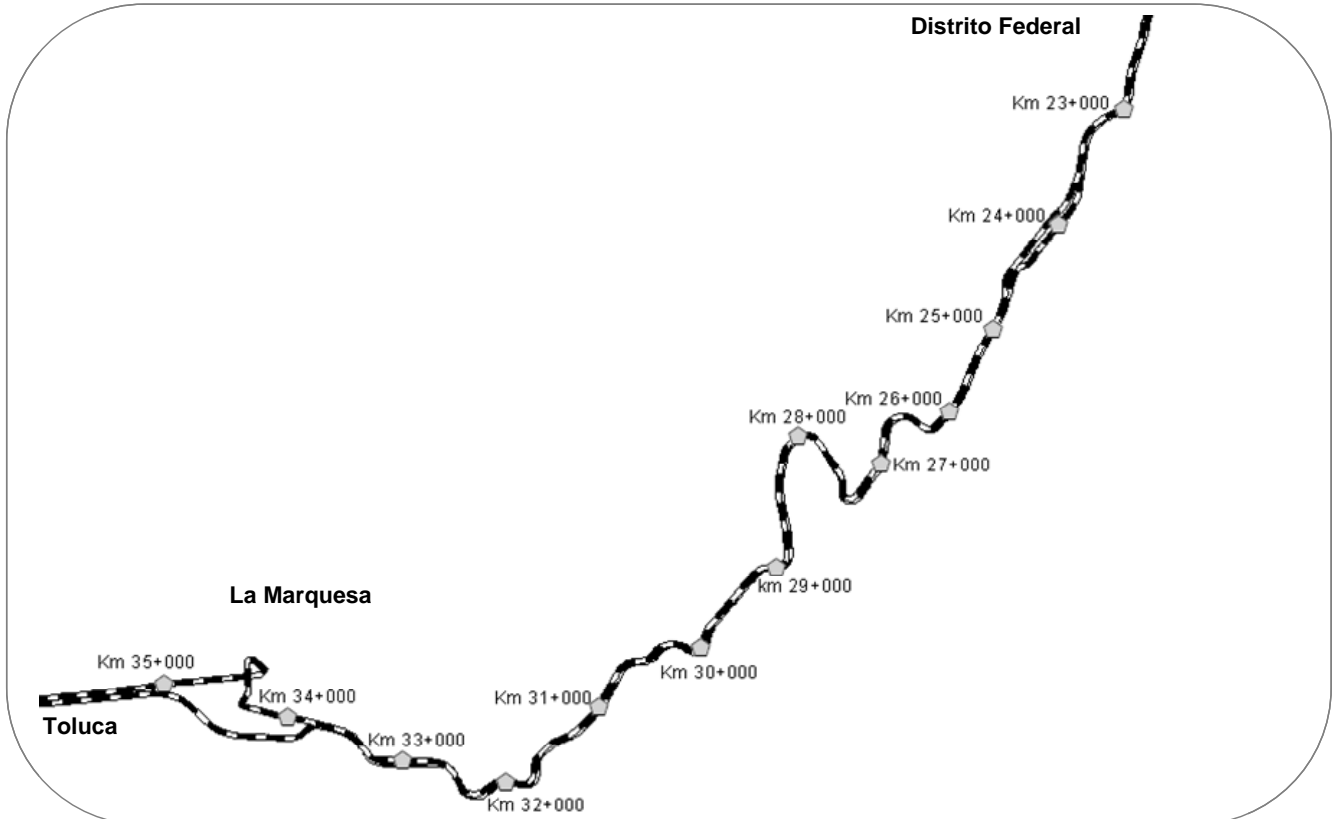


FIGURA 4. Georreferenciación del tramo considerado



## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

Se efectuó un análisis de los reportes de los accidentes levantados por la Policía Federal para el año 2007, observándose lo siguiente:

- El principal tipo de accidente es “choque vs vehículo motor en tránsito”, seguido de “salida del camino”.
- En lo que corresponde a las causas que ocasionan los accidentes, sobresalen con una mayor cantidad los accidentes con causas atribuibles al conductor (61,4 %), seguido de las causas atribuibles a los agentes naturales con un 25,3%, finalmente las causas atribuibles al camino y al vehículo con 10,8% y 2,4% respectivamente.
- Los accidentes se presentan con una distribución uniforme a lo largo de casi todos los días de la semana.
- En lo que corresponde sólo a causas atribuibles al conductor, se tiene que la “velocidad excesiva” representa la principal causa por la cual el conductor origina el percance.
- En lo que corresponde a accidentes atribuibles al camino, las principales causas que originan los accidentes son: pavimento mojado y resbaloso, y en el 78,5% de dichos accidentes estuvo presente la “lluvia” al momento del percance.

Respecto a las características físicas y operativas del tramo, se observó lo siguiente:

- La sección se ubica dentro de una zona de curvas con pendiente ascendente al inicio y posteriormente descendente en el cuerpo “A”. La situación inversa se presenta para el cuerpo “B”.
- Los dispositivos de contención no son totalmente continuos en tramos donde ambos sentidos de circulación son contiguos.
- Los sitios con curvas y pendientes pronunciadas requieren una mayor presencia de señalamiento horizontal y vertical antes y a lo largo del tramo: señales previas tanto preventivas como informativas en ambos lados de la carretera, así como indicadores de curva peligrosa colocados en las curvas.
- El límite máximo de velocidad establecido en el señalamiento para la zona de curvas es de 60 km/h, como se ilustra en la fotografía en la Figura 5.
- La velocidad del percentil 85 en el km 33+200 cuerpo “A” fue de 93 km/h. La Figura 6 muestra la gráfica del estudio de velocidad de punto en el sitio.
- La velocidad mínima registrada en el km 33+200 cuerpo “A” fue de un vehículo tipo “C2” que circulaba a 48 km/h y la velocidad máxima registrada corresponde a un automóvil que circulaba a 112 km/h, por lo que se presenta una diferencia importante de velocidad entre los dos tipos de vehículos de 64 km/h.
- Las condiciones geométricas en este tramo impiden mantener la velocidad inicial, por lo que el conductor realiza cambios constantes de velocidad debido a la presencia de curvas con pendiente ascendente o descendente.

VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL  
 “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”



FIGURA 5. Límite máximo de velocidad establecido en el señalamiento para la zona de curvas

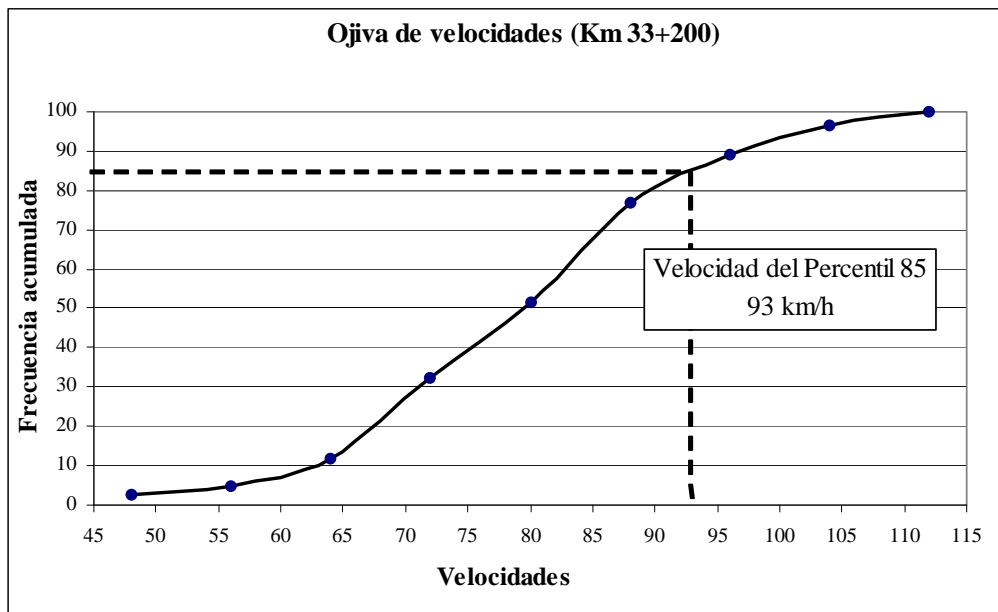


FIGURA 6. Velocidad del percentil 85 en el km 33+200

**VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL**  
**“INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”**

La Figura 7 muestra una vista general del sitio exacto donde se tomaron velocidades.



**FIGURA 7. Vista del sitio de lectura de velocidades (km 33+200)**

Esta carretera fue originalmente construida como una arteria interurbana principal. Actualmente atiende primordialmente la fase de movimiento principal de los viajes, por lo que sigue cumpliendo esa función, pero con las siguientes deficiencias en relación con los principios de planificación de redes viales mencionados en las primeras partes de este trabajo:

- No hay congruencia entre su jerarquía de tránsito, que es la de una autopista, y sus características geométricas y operativas, las cuales son significativamente inferiores a las que corresponden a esa categoría.
- La geometría de la vía es la de una arteria menor de distribución, con el agravante de que su control de acceso es prácticamente nulo. Son frecuentes las discontinuidades en la barrera central, como se ilustra en la fotografía en la Figura 8, que hacen posible las vueltas en U y el acceso a las propiedades y comercios aledaños; es también evidente la elevada intensidad del tránsito en ambos sentidos. En la fotografía en la Figura 9 se ilustra otra discontinuidad que permite el cruce a nivel de vehículos que van entre asentamientos a ambos lados de la carretera, cruzando también de los flujos de elevada intensidad y velocidad que transitan por la vía; la discontinuidad también incentiva el

## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

cruce a nivel de peatones (cruzando los carriles de circulación), a pesar de que existe un puente peatonal.



**FIGURA 8. Discontinuidad en la barrera central y acceso directo de vehículos a comercios aledaños**



**FIGURA 9. Discontinuidad que permite el cruce a nivel de vehículos que van entre asentamientos a ambos lados de la carretera**

## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

- El acceso vehicular a esta carretera es directo desde las propiedades y comercios aledaños, o desde vías locales provenientes de los pueblos, poblados y colonias cercanos. Esta situación se ilustra en la fotografía en la Figura 10. No existen elementos de transición, ni vías colectoras, ni de distribución, provenientes de los sistemas que se conectan con ella. Esta situación es el resultado de fallas en la planeación y en la aplicación de las regulaciones de control de acceso, ante el consistente crecimiento poblacional y de actividades comerciales que se ha dado a través de los años en el entorno de la vía.



**FIGURA 10. Acceso vehicular directo desde las propiedades y comercios aledaños**

- En general, el estado del pavimento, de los dispositivos de contención (barreras centrales y laterales) y del señalamiento tanto horizontal como vertical, son deficientes. En la fotografía en la Figura 11 es evidente el deterioro de la barrera central. En la fotografía en la Figura 12 es evidente el mal estado del pavimento, los elementos de contención (barreras centrales y laterales), las señales verticales y horizontales, etc.; es también evidente la frecuencia de sitios en los que coinciden fuertes pendientes y fuertes curvaturas.

**VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL  
“INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”**



**FIGURA 11. Deterioro de la barrera central**



**FIGURA 12. Mal estado del pavimento, los elementos de contención y de las señales verticales y horizontales**

- Es frecuente la incidencia de peatones y vendedores ambulantes en los arroyos de circulación y en las inmediaciones de la carretera en general, como se ilustra en la fotografía en la Figura 13.



## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”



**FIGURA 13. Incidencia de peatones y vendedores ambulantes en los arroyos de circulación y en las inmediaciones de la carretera**

La elevada accidentalidad observada consistentemente en este tramo es resultado de las deficiencias anteriores. Para subsanarlas se han propuesto cualquiera de las siguientes dos opciones:

- Modernizar la vía, elevando sus estándares hasta alcanzar el nivel de arteria principal. Esto requeriría de: (I) la corrección de trazos horizontal y vertical, reduciendo grados de curvatura y pendientes; (II) eliminar las interrupciones en la barrera central; (III) construir distribuidores viales a desnivel en las intersecciones con las vías públicas más importantes; (IV) limitar la accesibilidad de la vía, clausurando una gran cantidad de los accesos actuales, concentrando el tránsito hacia un menor número de ellos o hacia los distribuidores viales anteriores (p. ej. a través de vías colectoras paralelas); y (V) integrar los sistemas viales que se conectan con la vía mediante la implementación de vías de transición, distribución y recolección. Esta alternativa es de muy alto costo, dada la gran cantidad de construcción requerida y el costo de la adquisición de derecho de vía y de clausura de los accesos a cerrar.
- Instrumentar tecnologías de los denominados “Sistemas Inteligentes de Transporte”, para aumentar la seguridad operativa de la vía. Específicamente se propone la instalación de la siguiente secuencia de señales para cada sentido de las cinco curvas de mayor grado: (I) Señal preventiva tipo puente con una leyenda para cada carril que diga “Precaución curva peligrosa a 1 km”; (II) Señal tipo puente, con un tablero de límite de velocidad variable (dependiendo de condiciones atmosféricas y del tránsito) para cada carril; (III) Señal tipo puente, con un radar para cada carril y tablero para transmitir su velocidad al usuario, así como alguna advertencia; (IV) Señal tipo bandera, con mensaje sobre el límite de velocidad prevaleciente (variable) en la curva próxima; y (V) Chevrones en la curva, con led’s alimentados mediante celda solar. También se propone implementar el Centro de Control Vehicular desde el que se manejen las



## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

señales anteriores y otros operativos (p. ej. de emergencia), así como una estación climatológica, en una tangente en zona suburbana, ubicada en el entorno del kilómetro 30+000. Cabe destacar que una de las ventajas fundamentales para instalar estos elementos en esa zona suburbana es la existencia de energía eléctrica en la misma. También se propone la instalación de señalización dinámica en las proximidades de cada sentido de las cinco intersecciones más peligrosas formadas por la interrupción de la barrera central (ubicadas entre el kilómetro 28+000 y el 33+000). Asimismo, se propone la instalación de tecnologías de notificación de emergencias relacionadas con el transporte y seguridad mediante la instalación de tres teléfonos de emergencia para cada sentido, a una equidistancia de menos de 5 kilómetros entre ellos. En esta alternativa también sería necesario clausurar una gran cantidad de los accesos actuales, reencauzando su tránsito hacia las intersecciones en las que se instale señalización dinámica. Esta alternativa es más económica y eficiente en costo que la anterior. Se pueden obtener mayores detalles para esta alternativa en [5].

### 5. INTEGRACIÓN DE NUEVA INFRAESTRUCTURA CARRETERA CON EL MEDIO URBANO

El Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes establece la necesidad de una extensa red de autopistas y libramientos de altas especificaciones con el propósito de aumentar la cobertura, calidad y competitividad de la infraestructura carretera del país [6].

Como impulsoras importantes del desarrollo socioeconómico y comercial de la Nación, las carreteras de altas especificaciones normalmente albergan grandes volúmenes de tránsito que pueden producir efectos indeseables cuando no se resuelve adecuadamente su integración física en los puntos de conexión con el medio urbano.

Los congestionamientos del tránsito por falta de capacidad de calles y avenidas, los recorridos innecesarios, las mezclas inconvenientes de vehículos, el aumento del índice de accidentes, los impactos al medio ambiente y particularmente los sobrecostos del transporte, son algunos de estos efectos.

Con el fin de evitar los efectos anteriores, es recomendable que se realicen, antes de la construcción y puesta en operación de la nueva infraestructura, estudios que, de acuerdo con los principios de planificación de redes viales mencionados en las primeras partes de este trabajo, permitan prever las obras y adecuaciones más convenientes de enlace con la red local, de tal manera que el sistema global resultante proporcione un nivel de servicio uniforme y adecuado para cada una de las seis fases del trayecto de todos los usuarios, desde su origen hasta su destino final evitando, en lo posible, cambios bruscos en la operación; de esta manera es mayor la posibilidad de que se cumpla plenamente el objetivo de comunicación expedita y segura, asociado a obras de esta envergadura y, por ende, un mejor aprovechamiento de las cuantiosas inversiones involucradas en su construcción.

Algunos principios generales que pueden ser de utilidad para abordar la problemática de integrar regionalmente una nueva infraestructura con un área urbana, son los siguientes:



## VII SEMINARIO DE INGENIERÍA VIAL “INTEGRACIÓN DE LAS VÍAS TERRESTRES AL DESARROLLO URBANO”

- Distribuir regionalmente, conforme a su destino, la demanda de tránsito y transporte que aporta la nueva infraestructura.
- Localizar estratégicamente los puntos de conexión de la nueva infraestructura con la vialidad principal de la zona urbana y su área de influencia.
- Detectar las obras de mejoramiento y adecuación que requiera la infraestructura vial y los servicios de transporte de la ciudad par evitar los efectos negativos que pudiera provocar el tránsito interurbano.
- Establecer fórmulas de financiamiento y de recuperación de las inversiones mediante distintos esquemas de concertación y concesión.
- Predecir y prevenir los impactos sobre el ambiente en el medio urbano-regional debido a la realización, presencia y utilización de la infraestructura carretera.

### 6. CONCLUSIONES

Se han presentado una serie de principios sobre urbanismo, usos del suelo, clasificación funcional de vías y control de acceso, aplicables a la planificación de redes viales para la satisfacción de las necesidades urbanas y el logro de la congruencia entre las fases de los viajes y el tipo funcional de vía destinado a atender cada fase, su jerarquía de movilidad, su jerarquía de distancias de viaje, su nivel de control de acceso y sus propiedades geométricas. Desde la perspectiva de estos principios, se analiza la problemática generada por el desarrollo urbano en el entorno de las carreteras y algunas soluciones tradicionales posibles y otras basadas en la telemática (“Sistemas Inteligentes de Transporte”). Con base en los mismos principios se generan algunas recomendaciones para integrar armónicamente nueva infraestructura carretera de altas especificaciones, en su conexión con medios urbanos.

### REFERENCIAS

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004*, Washington, DC (2004).
- [2] Instituto Mexicano del Transporte (IMT), *Anuario Estadístico de Accidente, 2006*, Querétaro, Querétaro (2007), Documento Técnico 38.
- [3] Instituto Mexicano del Transporte (IMT), *Anuario Estadístico de Accidente, 2007*, Querétaro, Querétaro (2008), Documento Técnico 41.
- [4] Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Subsecretaría de Infraestructura, *Datos Viales 2009*, DGST, México, DF (Dic 2009).
- [5] Mendoza, A., García, A, et al, *Identificación, Análisis, Evaluación e Implantación de Tecnologías de la Arquitectura ITS Relacionadas con la Seguridad (Fase I)*, Querétaro, Qro. (2009).
- [6] Gobierno Federal, Presidencia de la República, *Programa Nacional de Infraestructura 2007 - 2012*, México, DF (Julio 2007).